

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



EXPRESS Mail No: EL 6974938296
di. J. A. BEUTLER et al
#2
Title: A HEAT TRANSFER
TUBE AND A METHOD
OF FABRICATION THEREOF

J1017 U.S. PTO
10/042487
01/09/02

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 101 01 589.5

Anmeldetag: 16. Januar 2001

Anmelder/Inhaber: Wieland-Werke AG,
Ulm/DE

Bezeichnung: Wärmeaustauscherröhr und Verfahren zu dessen
Herstellung

IPC: F 28 F, B 21 D, B 23 P

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 29. November 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Dzierzon

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Metallisches Wärmeaustauscherrohr, insbes. zur Verdampfung von Flüssigkeiten aus Reinstoffen oder Gemischen auf der Rohraußenseite, mit auf der Rohraußenseite ausgeformten integralen Rippen (3), deren Fuß (13) im wesentlichen radial von der Rohrwandung (18) absteht, wobei im Bereich des Nutengrundes (6) der zwischen den Rippen (3) verlaufenden Primärnuten (4) Aussparungen angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Aussparungen in Form hinterschnittener Sekundärnuten (7) ausgebildet sind.
2. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rippen (3) und die Primärnuten (4) schraubenlinienförmig verlaufen.
3. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rippen (3) und die Primärnuten (4) ringförmig verlaufen.
4. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rippen (3) und die Primärnuten (4) in Axialrichtung verlaufen.

5. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,
daß die hinterschnittenen Sekundärnuten (7) mit im wesentlichen konstantem Querschnitt in Richtung der Primärnuten (4) verlaufen.
6. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,
daß der Querschnitt der in Richtung der Primärnuten (4) verlaufenden, hinterschnittenen Sekundärnuten (7) in regelmäßigen Abständen variiert ist.
7. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,
daß die hinterschnittenen Sekundärnuten (7) im wesentlichen quer zur Richtung der Primärnuten (4) verlaufen.
8. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,
daß sich die hinterschnittenen Sekundärnuten (7) maximal bis 45 % der Rippenhöhe H ausdehnen.
9. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,
daß sich die hinterschnittenen Sekundärnuten (7) maximal bis 20 % der Rippenhöhe H ausdehnen.
10. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet,
daß die Rippen (3) eine gleichmäßige Höhe H aufweisen.
11. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet,
daß die Rippenspitzen (8) gekerbt sind.

12. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Rippen (3) einen im wesentlichen T-förmigen Querschnitt aufweisen.
13. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß es glatte Enden und/oder glatte Zwischenbereiche aufweist.
14. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß es als nahtloses Rohr ausgebildet ist.
15. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß es als längsnahtgeschweißtes Rohr ausgebildet ist.
16. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeaustauschrohres nach Anspruch 2, bei dem folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:
 - a) Auf der äußeren Oberfläche eines Glattrohres (2) werden schraubenlinienförmig verlaufende Rippen (3) herausgewalzt, indem das Rippenmaterial durch Verdrängen von Material aus der Rohrwandung nach außen mittels eines Walzvorgangs gewonnen wird und das entstehende Rippenrohr (1) durch die Walzkräfte in Drehung versetzt und/oder entsprechend den entstehenden Rippen (3) vorgeschoben wird, wobei die Rippen (3) mit ansteigender Höhe aus dem sonst unverformten Glattrohr (2) ausgeformt werden,

- b) das Glattrohr (2) wird durch einen darinliegenden Walzdorn (27) abgestützt,
 - c) nach dem Herausformen der Rippen (3) wird durch radialen Druck Material von den Rippenflanken (5) und/oder aus dem Übergangsbereich (13) am Rippenfuß unter Ausbildung der hinterschnittenen Sekundärnuten (7) zum Nutengrund (6) verlagert.
17. Verfahren nach Anspruch 16 zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,
daß der radiale Druck im Verfahrensschritt c) mittels einer zylindrischen Scheibe (14) erzeugt wird,
deren Durchmesser kleiner ist als der Durchmesser der größten Walzscheibe (12) und deren Dicke D mindestens 50 % und höchstens 80 % der Rippenteilung T beträgt.
18. Verfahren nach Anspruch 17 zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,
daß auf den Verfahrensschritt c) der Verfahrensschritt d) folgt,
in dem der Nutengrund (6) durch weiteren radialen Druck mittels einer zahnradartigen Kerbscheibe (16),
deren Durchmesser größer ist als der Durchmesser der zylindrischen Scheibe (14), maximal jedoch so groß wie der Durchmesser der größten Walzscheibe (12), stellenweise derart verformt wird,
daß in Umfangsrichtung regelmäßig voneinander beabstandete Eindrückungen (17) entstehen.

19. Verfahren nach Anspruch 16 zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
daß der radiale Druck im Verfahrensschritt c') mittels einer zahnradartigen Kerbscheibe (19) erzeugt wird, deren Durchmesser kleiner ist als der Durchmesser der größten Walzscheibe (12), wodurch voneinander beabstandete Eindrückungen (20) entstehen, und
daß der Verfahrensschritt d') folgt,
in dem durch weiteren radialen Druck mittels einer zylindrischen Überwalzscheibe (22) die hinterschnittenen Sekundärnuten (7) erzeugt werden.
20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet,
daß jeweils eine gerade oder schräg verzahnte Kerbscheibe (16, 19) verwendet wird.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20 zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet,
daß in einem weiteren Verfahrensschritt e) die Rippen-
spitzen (8) durch radialen Druck mittels einer zahnrad-
artigen Kerbscheibe (24) gekerbt werden.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 21, dadurch gekennzeichnet,
daß in einem Verfahrensschritt f) durch weiteren radialen Druck die Rippen-
spitzen (8) mittels mindestens einer Stauchrolle (25) zu einem im wesentlichen T-förmigen Querschnitt gestaucht werden.

B e s c h r e i b u n g

Wärmeaustauscherrohr und Verfahren zu dessen Herstellung

Die Erfindung betrifft ein metallisches Wärmeaustauscherrohr, insbesondere zur Verdampfung von Flüssigkeiten aus Reinstoffen oder Gemischen auf der Rohraußenseite, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Verdampfung tritt in vielen Bereichen der Kälte- und Klimatechnik sowie in der Prozeß- und Energietechnik auf. In der Technik werden häufig Rohrbündelwärmeaustauscher verwendet, in denen Flüssigkeiten von Reinstoffen oder Mischungen auf der Rohraußenseite verdampfen und dabei auf der Rohrinneiseite eine Sole oder Wasser abkühlen. Solche Apparate werden als überflutete Verdampfer bezeichnet.

Durch die Intensivierung des Wärmeübergangs auf der Rohraußen- und der Rohrinneiseite läßt sich die Größe der Verdampfer stark reduzieren. Hierdurch nehmen die Herstellungskosten solcher Apparate ab. Außerdem sinkt die notwendige Füllmenge an Kältemittel, die bei den heute überwiegend verwendeten, chlorfreien Sicherheitskältemitteln einen nicht zu vernachlässigenden Kostenanteil an den gesamten Anlagekosten ausmachen kann. Bei toxischen oder brennbaren Kältemitteln läßt sich durch eine Reduktion der Füllmenge ferner das Gefahrenpotential herabsetzen. Die heute üblichen Hochleistungsrohre sind etwa um den Faktor drei leistungsfähiger als glatte Rohre gleichen Durchmessers.

Stand der Technik

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf strukturierte Rohre, bei denen der Wärmeübergangskoeffizient auf der Rohraußenseite intensiviert wird. Da hierdurch der Hauptanteil des Wärmedurchgangswiderstandes häufig auf die Innenseite verlagert wird, muß der Wärmeübergangskoeffizient auf der Innenseite in der Regel ebenfalls intensiviert werden. Eine Erhöhung des Wärmeübergangs auf der Rohrrinnenseite hat üblicherweise eine Steigerung des rohrseitigen Druckabfalls zu Folge.

Wärmeaustauscherrohre für Rohrbündelwärmeaustauscher besitzen üblicherweise mindestens einen strukturierten Bereich sowie glatte Endstücke und eventuell glatte Zwischenstücke. Die glatten End- bzw. Zwischenstücke begrenzen die strukturierten Bereiche. Damit das Rohr problemlos in den Rohrbündelwärmeaustauscher eingebaut werden kann, darf der äußere Durchmesser der strukturierten Bereiche nicht größer sein als der äußere Durchmesser der glatten End- und Zwischenstücke.

Zur Erhöhung des Wärmeüberganges bei der Verdampfung wird der Vorgang des Blasensiedens intensiviert. Es ist bekannt, daß die Bildung von Blasen an Keimstellen beginnt. Diese Keimstellen sind meist kleine Gas- oder Dampfeinschlüsse. Solche Keimstellen lassen sich bereits durch Aufrauen der Oberfläche erzeugen. Wenn die anwachsende Blase eine bestimmte Größe erreicht hat, löst sie sich von der Oberfläche ab. Wenn im Zuge der Blasenablösung die Keimstelle durch nachströmende Flüssigkeit geflutet wird, wird u.U. der Gas- bzw. Dampfeinschluß durch Flüssigkeit verdrängt. In diesem Fall wird die Keimstelle inaktiviert. Dies läßt sich durch eine geeignete Gestaltung der Keimstellen vermeiden. Hierzu ist es notwendig, daß die Öffnung der Keimstelle kleiner ist als der unter der

Öffnung liegende Hohlraum.

Es ist Stand der Technik, derartige Strukturen auf der Basis von integral gewalzten Rippenrohren herzustellen. Unter integral gewalzten Rippenrohren werden berippte Rohre verstanden, bei denen die Rippen aus dem Wandungsmaterial eines Glattrohres geformt wurden. Es sind hierbei verschiedene Verfahren bekannt, mit denen die zwischen benachbarten Rippen befindlichen Kanäle derart verschlossen werden, daß Verbindungen zwischen Kanal und Umgebung in Form von Poren oder Schlitzeln bleiben. Da die Öffnung der Poren oder Schlitzeln kleiner ist als die Breite der Kanäle, stellen die Kanäle geeignet geformte Hohlräume dar, die Bildung und Stabilisierung von Blasenkeimstellen begünstigen. Insbesondere werden solche im wesentlichen geschlossene Kanäle durch Umbiegen oder Umlegen der Rippe (US 3.696.861, US 5.054.548), durch Spalten und Stauchen der Rippe (DE 2.758.526, US 4.577.381), und durch Kerben und Stauchen der Rippe (US 4.660.630, EP 0.713.072, US 4.216.826) erzeugt.

Die leistungsstärksten, kommerziell erhältlichen Rippenrohre für überflutete Verdampfer besitzen auf der Rohraußenseite eine Rippenstruktur mit einer Rippendichte von 55 bis 60 Rippen pro Zoll (US 5.669.441, US 5.697.430, DE 197 57 526). Dies entspricht einer Rippenteilung von ca. 0.45 bis 0.40 mm. Prinzipiell ist es möglich, die Leistungsfähigkeit derartiger Rohre durch eine noch höhere Rippendichte bzw. kleinere Rippenteilung zu verbessern, da hierdurch die Blasenkeimstellendichte erhöht wird. Eine kleinere Rippenteilung erfordert zwangsläufig gleichermaßen feinere Werkzeuge. Feinere Werkzeuge sind jedoch einer höheren Bruchgefahr und schnellerem Verschleiß unterworfen. Die derzeit verfügbaren Werkzeuge ermöglichen eine sichere Fertigung von Rippenrohren mit Rippendichten von maximal 60 Rippen pro Zoll. Ferner werden mit

abnehmender Rippenteilung die Produktionsgeschwindigkeit der Rohre kleiner und folglich die Herstellungskosten höher.

Es ist bekannt, daß leistungsgesteigerte Verdampfungsstrukturen bei gleichbleibender Rippendichte auf der Rohraußenseite erzeugt werden können, indem man den Grund der Nut zwischen den Rippen strukturiert. In EP 0.222.100 wird vorgeschlagen, den Grund der Nut mittels einer Kerbscheibe mit Eindrückungen zu versehen. Die Eindrückungen am Nutengrund können V-, trapez- oder halbkreisförmigen Querschnitt besitzen und stellen zusätzliche Blasenkeimstellen dar. Die durch derartige Strukturen insbesondere im Bereich kleiner Heizflächenbelastungen erzielbaren Leistungssteigerungen genügen jedoch nicht mehr den Anforderungen des Marktes. Ferner stellen die Eindrückungen eine Schwächung der Kernwand des Rohres dar und führen zu einer Reduzierung der mechanischen Stabilität des Rohres.

Aufgabenstellung:

Es soll ein leistungsgesteigertes Wärmeaustauscherrohr zur Verdampfung von Flüssigkeiten auf der Rohraußenseite bei gleichem rohrseitigen Wärmeübergang und Druckabfall sowie gleichen Herstellungskosten produziert werden. Die mechanische Stabilität des Rohres soll nicht negativ beeinflusst werden.

Kurze Beschreibung der Erfindung

Die Aufgabe wird bei einem Wärmeaustauscherrohr der genannten Art, bei dem im Bereich des Nutengrunds der zwischen den Rippen schraubenlinienförmig verlaufenden Primärnuten Aussparungen angeordnet sind, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Aussparungen in Form hinterschnittener Sekundärnuten ausgebildet sind.

Eine hinterschnittene Nut (siehe Fig. 1) liegt dann vor, wenn

- in einer Schnittebene ein nicht abgeschlossenes Gebiet X zu finden ist,
- dieses Gebiet X mittels einer Strecke AB abgeschlossen werden kann,
- eine Strecke PQ mit $P, Q \in \text{Rand von X}$ gefunden wird, so daß PQ parallel zu AB und die Länge von PQ größer ist als die Länge von AB.

Eine hinterschnittene Sekundärnut bietet für die Bildung und Stabilisierung von Blasenkeimstellen deutlich günstigere Bedingungen als die in EP 0.222.100 vorgeschlagenen, einfachen Eindrückungen. Die Lage der hinterschnittenen Sekundärnuten in der Nähe des primären Nutengrundes ist für den Verdampfungsprozeß besonders günstig, da am Nutengrund die Wandübertemperatur am größten ist und deshalb dort die höchste treibende Temperaturdifferenz für die Blasenbildung zur Verfügung steht.

Die Ansprüche 2 bis 15 betreffen bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres.

Gemäß der Erfindung wird nach dem Ausformen der Rippen durch geeignete zusätzliche Werkzeuge Material aus dem Bereich der Rippenflanken zum Nutengrund hin verdrängt, so daß dort nicht ganz abgeschlossene Hohlräume entstehen, die die gewünschten hinterschnittenen Sekundärnuten darstellen. Die Hohlräume erstrecken sich vom primären Nutengrund zur Rippenspitze hin, wobei sie sich maximal bis 45% der Rippenhöhe H, typischerweise bis 20% der Rippenhöhe H ausdehnen. Die Rippenhöhe H wird dabei von der tiefsten Stelle des Nutengrunds, die durch die größte Walzscheibe ausgeformt wurde, bis zur Rippenspitze des vollständig geformten Rippenrohres gemessen.

Gegenstand der Erfindung sind gemäß der Ansprüche 16 bis 22 weiterhin verschiedene Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres.

Detaillierte Beschreibung:

Die Erfindung wird anhand der folgenden Ausführungsbeispiele näher erläutert:

Es zeigt:

- Fig.1: die Prinzipskizze einer hinterschnittenen Nut;
- Fig.2: schematisch die Herstellung eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres mit hinterschnittenen Sekundärnuten, die auf der Rohraußenseite mit im wesentlichen konstanten Querschnitt schraubenlinienförmig umlaufen;
- Fig.3: eine Teilansicht eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres mit hinterschnittenen Sekundärnuten, die mit im wesentlichen konstanten Querschnitt schraubenlinienförmig umlaufen;
- Fig.4: schematisch die Herstellung eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres mit schraubenlinienförmig verlaufenden, hinterschnittenen Sekundärnuten, deren Querschnitt in regelmäßigen Abständen variiert ist;
- Fig.5: eine Teilansicht eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres mit schraubenlinienförmig verlaufenden, hinterschnittenen Sekundärnuten, deren Querschnitt in regelmäßigen Abständen variiert ist;

- Fig.6: schematisch die Herstellung eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres mit hinterschnittenen Sekundärnuten, die im wesentlichen quer zur Richtung der Primärnuten verlaufen;
- Fig.7: eine Teilansicht eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres mit hinterschnittenen Sekundärnuten, die im wesentlichen quer zur Richtung der Primärnuten verlaufen;
- Fig.8: das Foto einer erfindungsgemäßen hinterschnittenen Sekundärnut am Nutengrund, die mit im wesentlichen konstanten Querschnitt schraubenlinienförmig umläuft;
- Fig.9: ein Diagramm, das den Leistungsvorteil durch die hinterschnittenen Sekundärnut am Nutengrund dokumentiert.

Das integral gewalzte Rippenrohr 1 nach Figuren 2 bis 7 weist auf der Rohraußenseite schraubenlinienförmig umlaufende Rippen 3 auf, zwischen denen eine Primärnut 4 gebildet ist. Material der Rippenflanken 5 wird geeignet verlagert, so daß im Bereich des Nutengrunds 6 nicht ganz abgeschlossene Hohlräume 7 entstehen, die die erfindungsgemäßen hinterschnittenen Sekundärnuten darstellen. Material der Rippenspitzen 8 ist derart verlagert, daß die Rippenzwischenräume unter Ausbildung von Kanälen 9 bis auf Poren 26 geschlossen werden.

Die Herstellung des erfindungsgemäßen Rippenrohres erfolgt durch einen Walzvorgang (vgl. US-PSen 1.865.575 / 3.327.512) mittels der in Figuren 2/4/6 dargestellten Vorrichtungen.

Es wird eine Vorrichtung verwendet, die aus $n = 3$ oder 4 Werkzeughaltern 10 besteht, in die jeweils ein Walzwerkzeug 11 integriert ist. Die Werkzeughalter 10 sind jeweils um $360^\circ/n$ versetzt am Umfang des Rippenrohres angeordnet. Die Werkzeughalter 10 sind radial zustellbar. Sie sind ihrerseits in einem ortsfesten (nicht dargestellten) Walzkopf angeordnet.

Das in Pfeilrichtung in die Vorrichtung einlaufende Glattrohr 2 wird durch die am Umfang angeordneten, angetriebenen Walzwerkzeuge 11 in Drehung versetzt, wobei die Achsen der Walzwerkzeuge 11 schräg zur Rohrachse verlaufen. Die Walzwerkzeuge 11 bestehen in an sich bekannter Weise aus mehreren nebeneinander angeordneten Walzscheiben 12, deren Durchmesser in Pfeilrichtung ansteigt. Die zentrisch angeordneten Walzwerkzeuge 11 formen die schraubenlinienförmig umlaufenden Rippen 3 aus der Rohrwandung des Glattrohrs 2, wobei in der Umformzone die Rohrwandung durch einen Walzdorn 27 unterstützt wird. Der Walzdorn 27 kann profiliert sein. Der längs zur Rohrachse gemessene Abstand der Mitten zweier benachbarter Rippen wird als Rippenteilung T bezeichnet. Die Walzscheiben sind an ihrem äußeren Umfang derart profiliert, daß die geformten Rippen 3 im wesentlichen trapezförmigen Querschnitt besitzen. Lediglich im Übergangsbereich 13 zwischen Rippenflanke 5 und Nutengrund 6 weicht die Rippe von der idealen Trapezform ab. Dieser Übergangsbereich 13 wird üblicherweise als Rippenfuß bezeichnet. Der dort gebildete Radius ist erforderlich, um einen ungehinderten Werkstofffluß während der Rippenausformung zu ermöglichen.

Nach der Ausformung der im wesentlichen trapezförmigen Rippen 3 durch das Walzwerkzeug 11 werden im Bereich des Grunds 6 der Primärnuten 4 die erfindungsgemäßen, hinterschnittenen Sekundärnuten 7 erzeugt. Hierbei können drei verschiedene Ausführungsformen Anwendung finden:

Ausführungsform 1:

Nach der letzten Scheibe des Walzwerkzeugs 11 befindet sich eine zylindrische Scheibe 14 im Eingriff, deren Durchmesser kleiner ist als der Durchmesser der größten Walzscheibe (Fig. 2). Die Dicke D dieser zylindrischen Scheibe 14 ist etwas größer als die Breite B der von den Walzscheiben 12 geformten Primärnut 4, wobei hier die Breite B der Primärnut 4 an der Stelle gemessen wird, an der die Rippenflanke 5 in den Radiusbereich des Rippenfußes 13 übergeht. Typischerweise beträgt die Dicke D der zylindrischen Scheibe 50% bis 80% der Rippen-
teilung T. Die zylindrische Scheibe 14 verdrängt Material von der Rippenflanke 5 zum Nutengrund 6 hin. Das verdrängte Material wird durch die geeignete Wahl der Werkzeuggeometrie derart verlagert, daß es über dem Nutengrund 6 Materialvorsprünge 15 bildet und unmittelbar am Nutengrund 6 somit ein nicht ganz abgeschlossener Hohlraum 7 entsteht (Fig. 3). Dieser Hohlraum 7 verläuft in Umfangsrichtung mit nahezu gleichbleibendem Querschnitt. Der Hohlraum 7 stellt eine erfindungsgemäße, hinterschnittene Sekundärnut dar.

Es kann sich als zweckmäßig erweisen, die Scheibe 14 auf ihrer Mantelfläche entlang ihres Umfangs mit einem vollständig oder abschnittsweise konkaven Profil zu versehen, um so die Verdrängung des Materials der Rippenflanke 5 zu begünstigen.

Da der Durchmesser der zylindrischen Scheibe 14 kleiner ist als der Durchmesser der größten Walzscheibe des Walzwerkzeugs 11, wird die tiefste Stelle des primären Nutengrunds 6 durch die zylindrische Scheibe 14 nicht bearbeitet. Die Rohrwandung 18 wird demnach bei der Formung der hinterschnittenen Sekundärnuten 7 nicht geschwächt.

Ausführungsform 2:

Diese Ausführungsform stellt eine Erweiterung von Ausführungsform 1 dar: Nach der zylindrischen Scheibe 14 befindet sich bei der zweiten Ausführungsform eine zahnradartige Kerbscheibe 16 im Eingriff, deren Durchmesser größer ist als der Durchmesser der zylindrischen Scheibe 14, höchstens jedoch so groß wie der Durchmesser der größten Walzscheibe des Walzwerkzeugs 11 (Fig. 4). Der von der zylindrischen Scheibe 14 geformte, in Umfangsrichtung mit gleichbleibendem Querschnitt verlaufende Hohlraum wird durch die Kerbscheibe 16 durch in Umfangsrichtung regelmäßig angeordnete Eindrückungen 17 unterteilt. Es entstehen somit in Umfangsrichtung umlaufende, hinterschnittene Sekundärnuten 7, deren Querschnitt in regelmäßigen Abständen variiert ist (Fig. 5). Die Kerbscheibe 16 kann gerade oder schräg verzahnt sein.

Da der Durchmesser der zahnradartigen Kerbscheibe 16 nicht größer ist als der Durchmesser der größten Walzscheibe des Walzwerkzeugs 11, wird die tiefste Stelle des primären Nutengrunds 6 durch die zahnradartige Kerbscheibe 16 nicht weiter vertieft. Die Rohrwandung 18 wird demnach bei der Formung der hinterschnittenen Sekundärnuten 7 gemäß Ausführungsform 2 nicht geschwächt.

Ausführungsform 3:

Nach der letzten Scheibe des Walzwerkzeugs 11 befindet sich eine zahnradartige Kerbscheibe 19 im Eingriff, wobei der Durchmesser der Kerbscheibe 19 höchstens so groß ist wie der Durchmesser der größten Walzscheibe (Fig. 6). Die Dicke D' der Kerbscheibe 19 ist etwas größer als die Breite B der von den Walzscheiben 12 geformten Primärnut 4, wobei hier die Breite B der Primärnut 4 an der Stelle gemessen wird, an der die Rippenflanke 5 in den Radiusbereich des Rippenfußes 13 übergeht. Typischerweise beträgt die Dicke D' dieser Kerbscheibe

50% bis 80% der Rippenteilung T. Die Kerbscheibe 19 kann gerade oder schräg verzahnt sein. Die Kerbscheibe 19 verdrängt Material aus dem Bereich der Rippenflanken 5 sowie aus dem Radiusbereich am Rippenfuß 13 und hinterläßt dort von einander beabstandete Eindrückungen 20. Das verdrängte Material wird vorzugsweise in die unbearbeiteten Bereich zwischen den einzelnen Eindrückungen 20 verlagert, so daß dort ausgeprägte Dämme 21 am Nutengrund 6 entstehen, die quer zu den primären Nuten 4 zwischen den Rippen 3 verlaufen. Die nun folgende Überwalzscheibe 22 konstanten Durchmessers verformt die oberen Bereiche dieser Dämme 21 in Richtung des Rohrumfangs, so daß zwischen den verformten oberen Bereichen 23 der Dämme 21 und dem Nutengrund 6 kleine Hohlräume 7 zwischen zwei benachbarten Dämmen 21 gebildet werden (Fig. 7). Diese Hohlräume 7 stellen die erfindungsgemäßen, hinterschnittenen Sekundärnuten dar. Der Durchmesser der Überwalzscheibe 22 muß kleiner gewählt werden als der Durchmesser der Grundkerbscheibe 19.

Da der Durchmesser der zahnradartigen Kerbscheibe 19 nicht größer ist als der Durchmesser der größten Walzscheibe des Walzwerkzeugs 11, wird die tiefste Stelle des primären Nutengrunds 6 durch die zahnradartige Kerbscheibe 19 nicht weiter vertieft. Die Rohrwandung 18 wird demnach bei der Formung der hinterschnittenen Sekundärnuten 7 gemäß Ausführungsform 3 nicht geschwächt.

Nachdem die hinterschnittenen Sekundärnuten 7 am Nutengrund 6 erzeugt wurden, werden die Rippenspitzen 8 mittels einer zahnradartigen Kerbscheibe 24 gekerbt. Dies ist in den Figuren 2/4/6 dargestellt. Anschließend erfolgt das Stauchen der gekerbten Rippenspitzen durch eine oder mehrere Stauchrollen 25. Die Rippen 3 erhalten so einen im wesentlichen T-förmigen Querschnitt, und die Nuten 9 zwischen den Rippen 3 werden bis auf Poren 26 verschlossen (Siehe Figuren 3/5/7).

Die Rippenhöhe H wird am fertigen Rippenrohr 1 von der tiefsten Stelle des Nutengrunds 6 bis zur Rippenspitze des vollständig geformten Rippenrohres gemessen.

Die erfindungsgemäßen, hinterschnittenen Sekundärnuten 7 am Grund 6 der Primärnuten 4 erstrecken sich vom Nutengrund 6 zur Rippenspitze hin, wobei sie sich maximal bis 45% der Rippenhöhe H, typischerweise bis 20% der Rippenhöhe H ausdehnen.

Fig. 8 zeigt das Foto einer erfindungsgemäßen, hinterschnittenen Sekundärnut 7 am Nutengrund 6. Die Schnittebene ist senkrecht zur Umfangsrichtung des Rohres. Es ist hier ein Beispiel nach Ausführungsform 1 dargestellt. Die erkennbare Asymmetrie der Struktur ist durch unvermeidbare Toleranzen bei Werkzeug- und Vormaterialabmessungen bedingt. Die Vorsprünge 15 bestehen aus Material, das von den Rippenflanken 5 zum Nutengrund 6 hin verlagert wurde.

Fig. 9 zeigt im Vergleich das Leistungsverhalten zweier strukturierter Rohre bei Verdampfung des Kältemittels R-134a auf der Rohraußenseite, wobei eines der Rohre mit hinterschnittenen Sekundärnuten am Nutengrund ausgeführt wurde. Dargestellt ist der äußere Wärmeübergangskoeffizient über der Heizflächenbelastung. Die Sättigungstemperatur beträgt hierbei 14.5 °C. Man erkennt, daß durch die hinterschnittenen Sekundärnuten am Nutengrund ein Leistungsvorteil erreicht wird, der bei kleinen Heizflächenbelastungen über 30%, bei großen Heizflächenbelastungen ca. 20% beträgt.

Strukturen mit hinterschnittenen Sekundärnuten am Nutengrund werden auch in EP 0.522.985 vorgeschlagen. Hierbei befindet sich die Struktur jedoch auf der Innenseite eines Rohres. Um die mechanische Stabilität derartiger Rohre insbesondere beim

Aufweiten der Rohre zu gewährleisten, müssen die Sekundärnuten möglichst flach gestaltet sein. Dies wird durch die in EP 0.522.985 beschriebene, spitzwinklige Geometrie der Sekundärnuten erreicht. Bei rohrseitiger Verdampfung von Kältemitteln herrscht im Rohr üblicherweise ein höherer Druck als auf der Rohraußenseite. Unter Innendruckbelastung geht aufgrund der Kerbwirkung von den spitzwinkligen Rändern der Sekundärnuten eine erhöhte mechanische Belastung auf die Wand des Rohres aus. Dies muß durch eine dickere Rohrwandung kompensiert werden. Dieser Sicherheitszuschlag in der Rohrwandung führt jedoch zu einem erhöhten Materialeinsatz und damit zu erhöhten Kosten.

Bei der hier vorgeschlagenen Gestaltung der hinterschnittenen Sekundärnuten 7 im Bereich des primären Nutengrunds 6 auf der Außenseite von berippten Rohren findet jedoch keine Schwächung der Rohrwandung 18 statt, da zur Bildung der Sekundärnuten 7 ausschließlich Material aus dem Bereich der Rippenflanken 5 und eventuell aus dem Radiusbereich 13 oberhalb des Nutengrunds 6 verwendet wird.

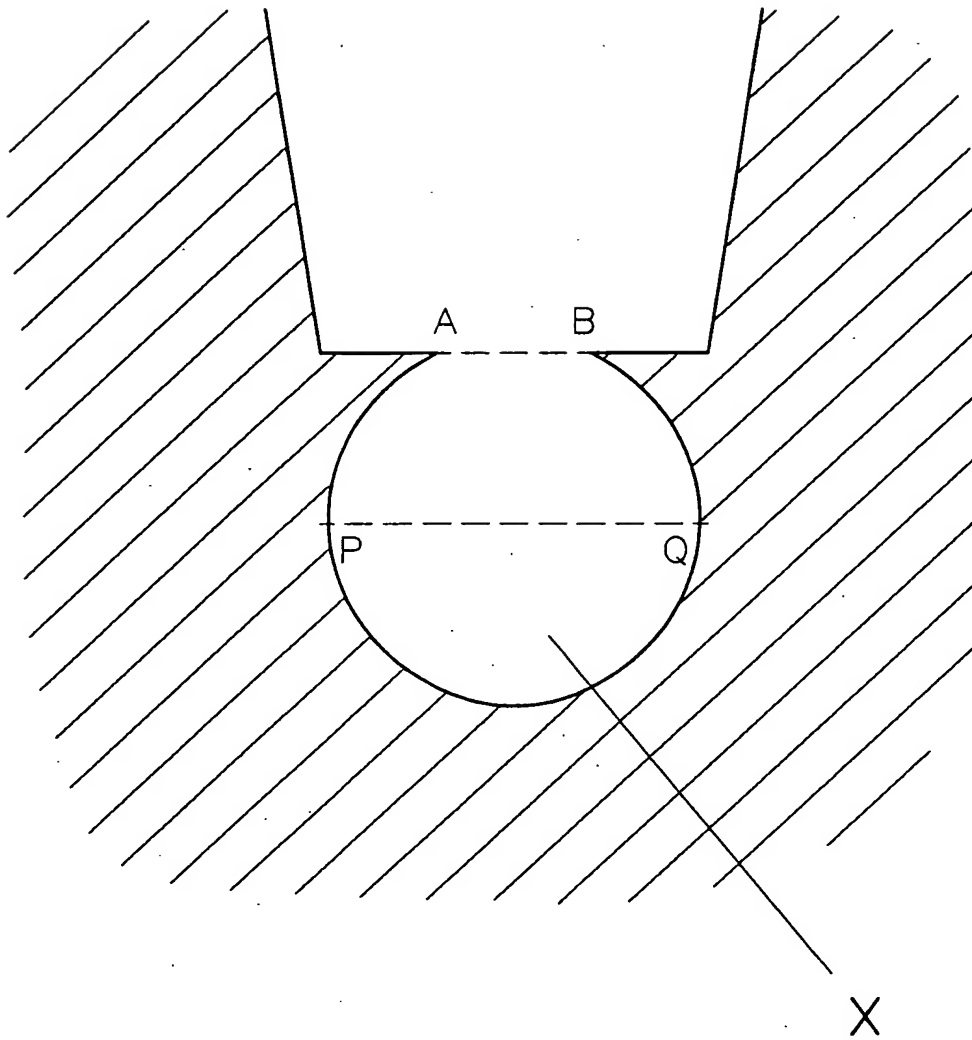


Fig.1

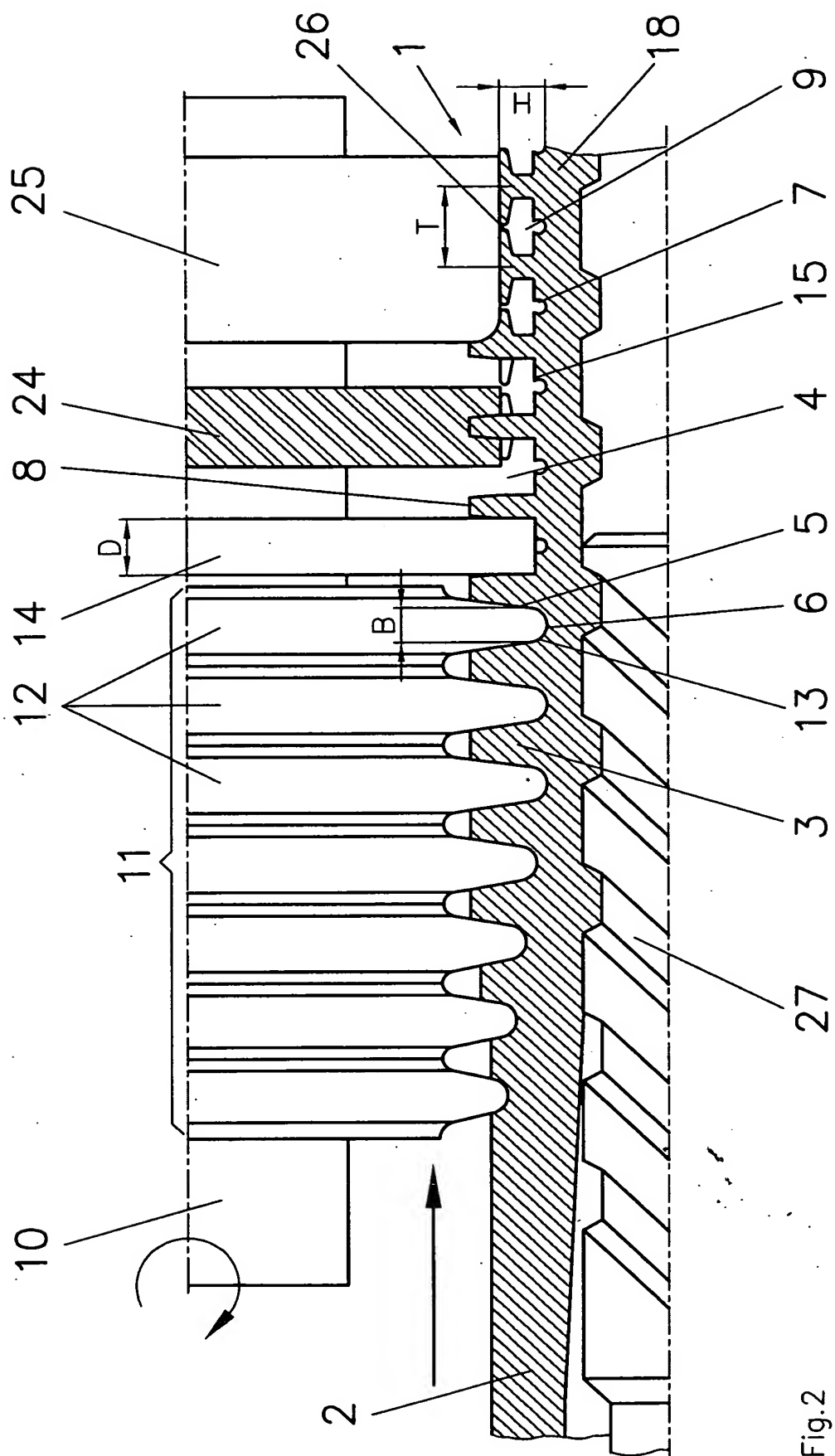


Fig. 2

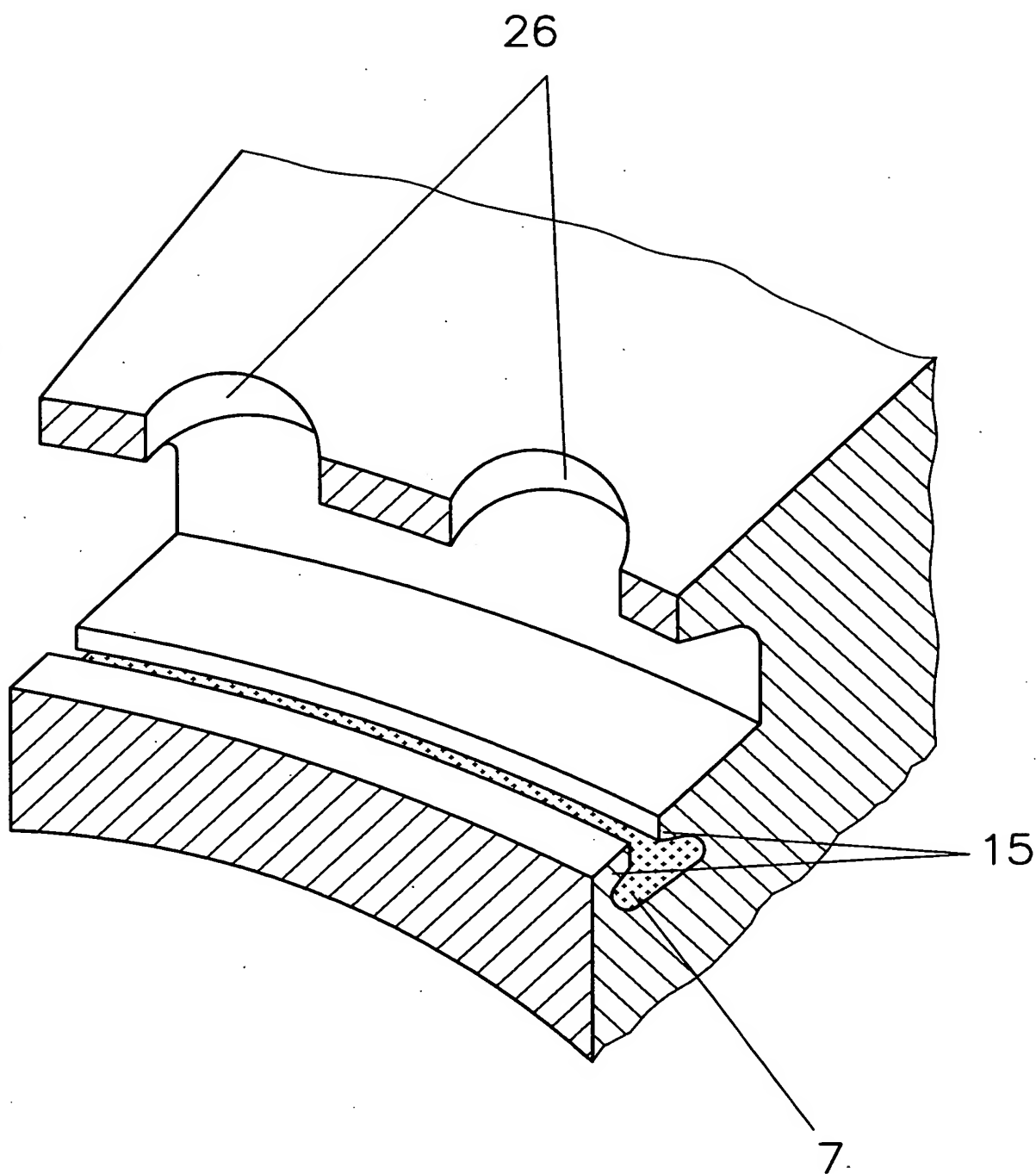


Fig.3

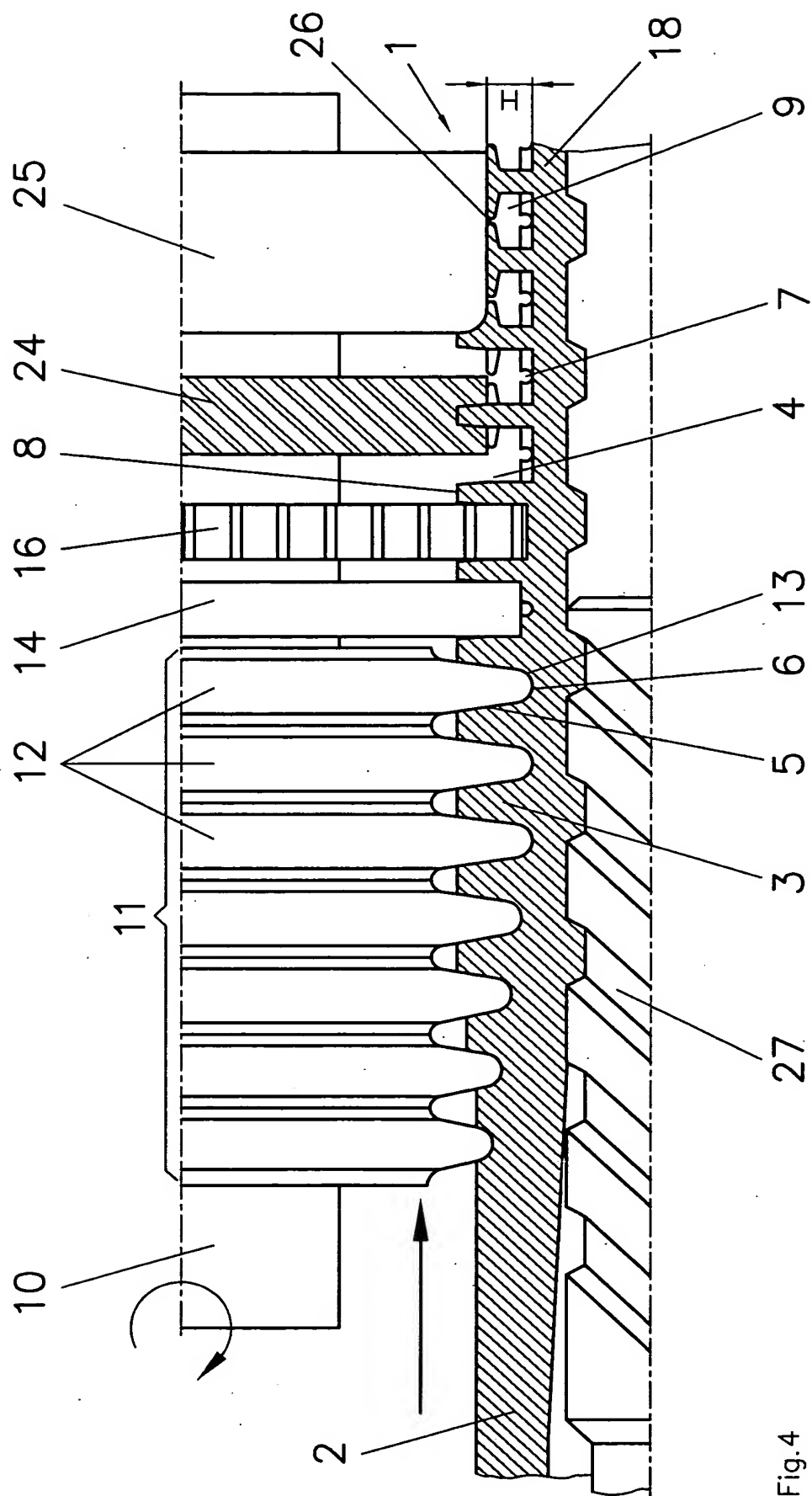


Fig.4

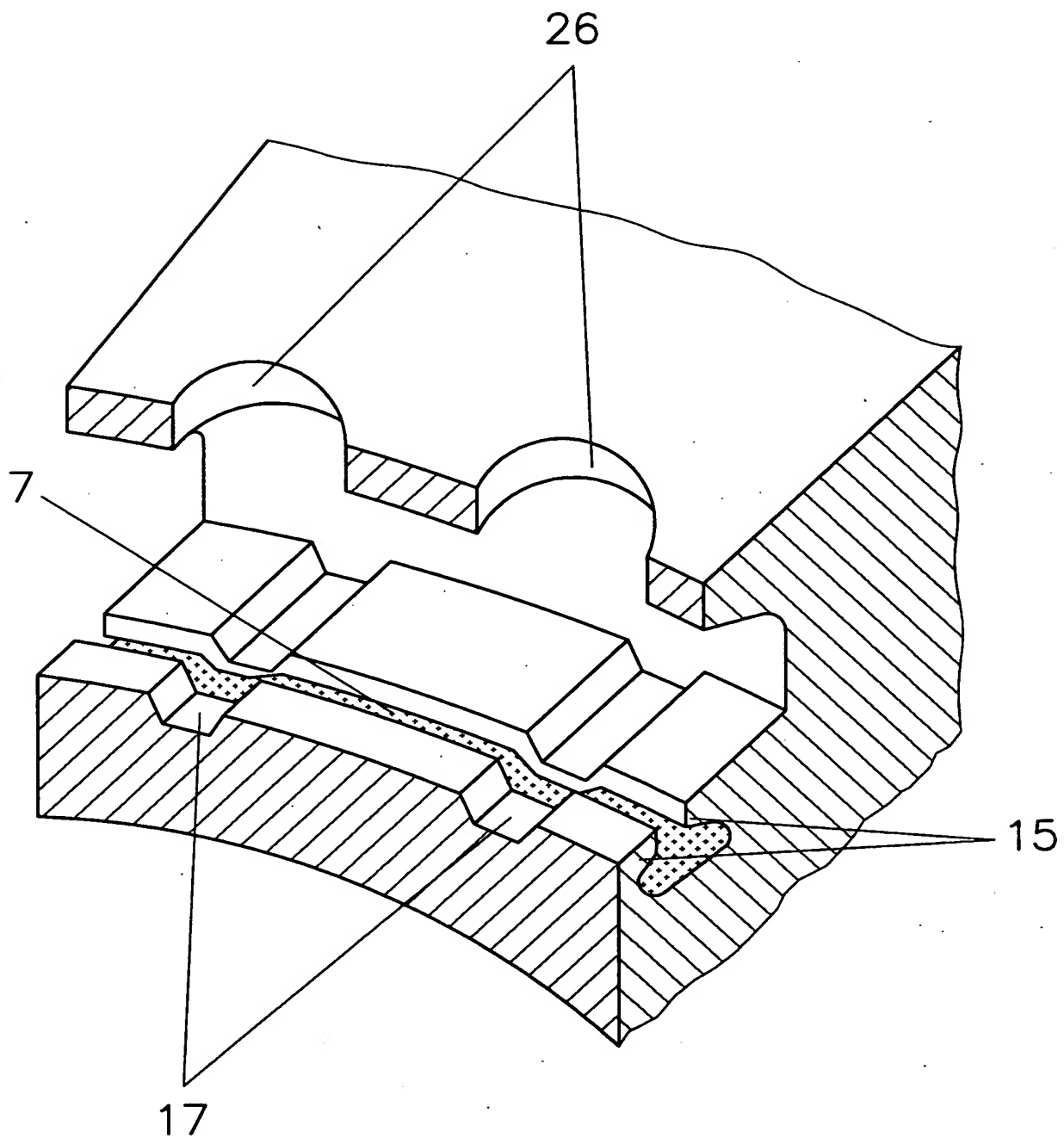


Fig.5

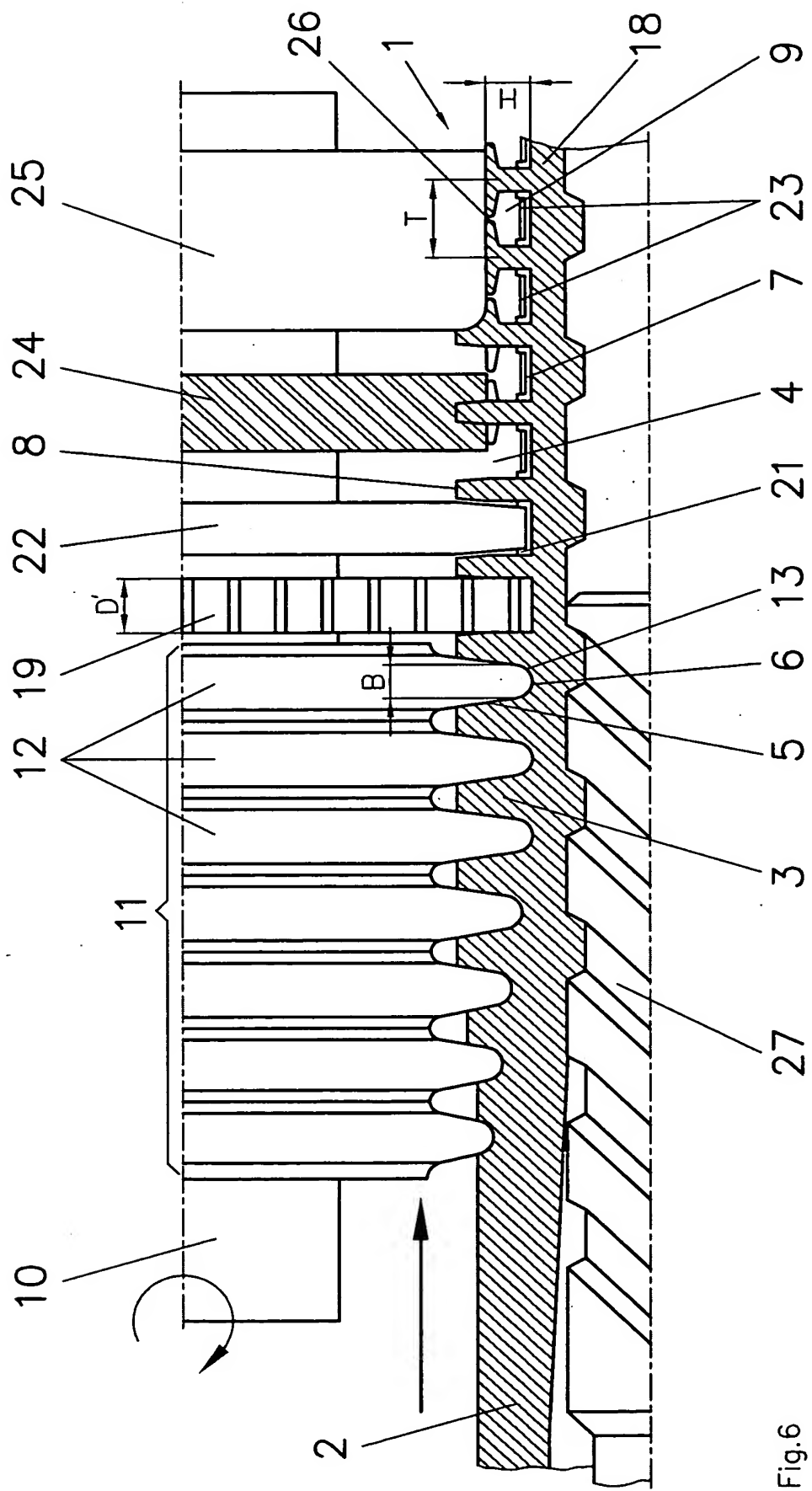


Fig.6

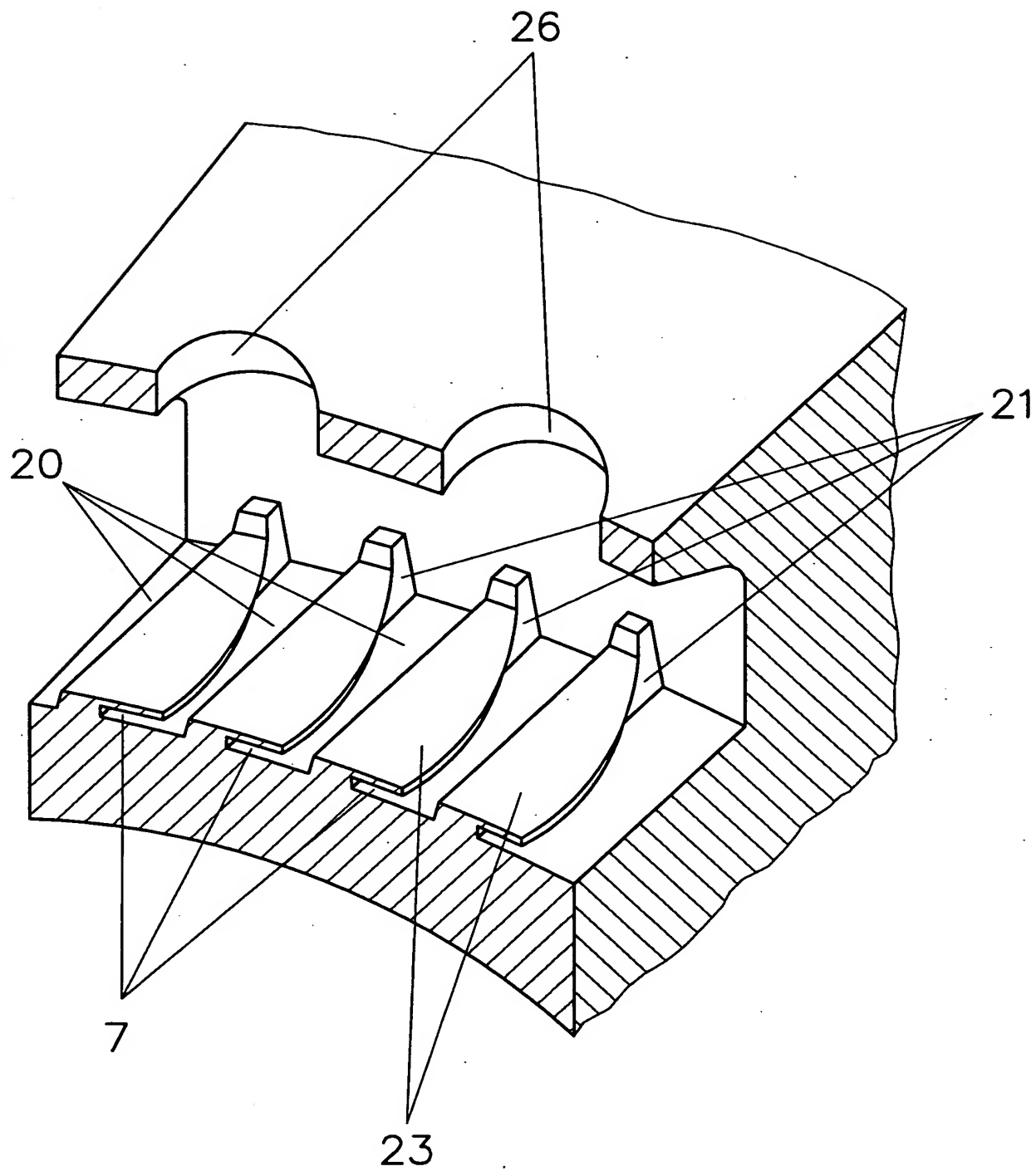


Fig.7

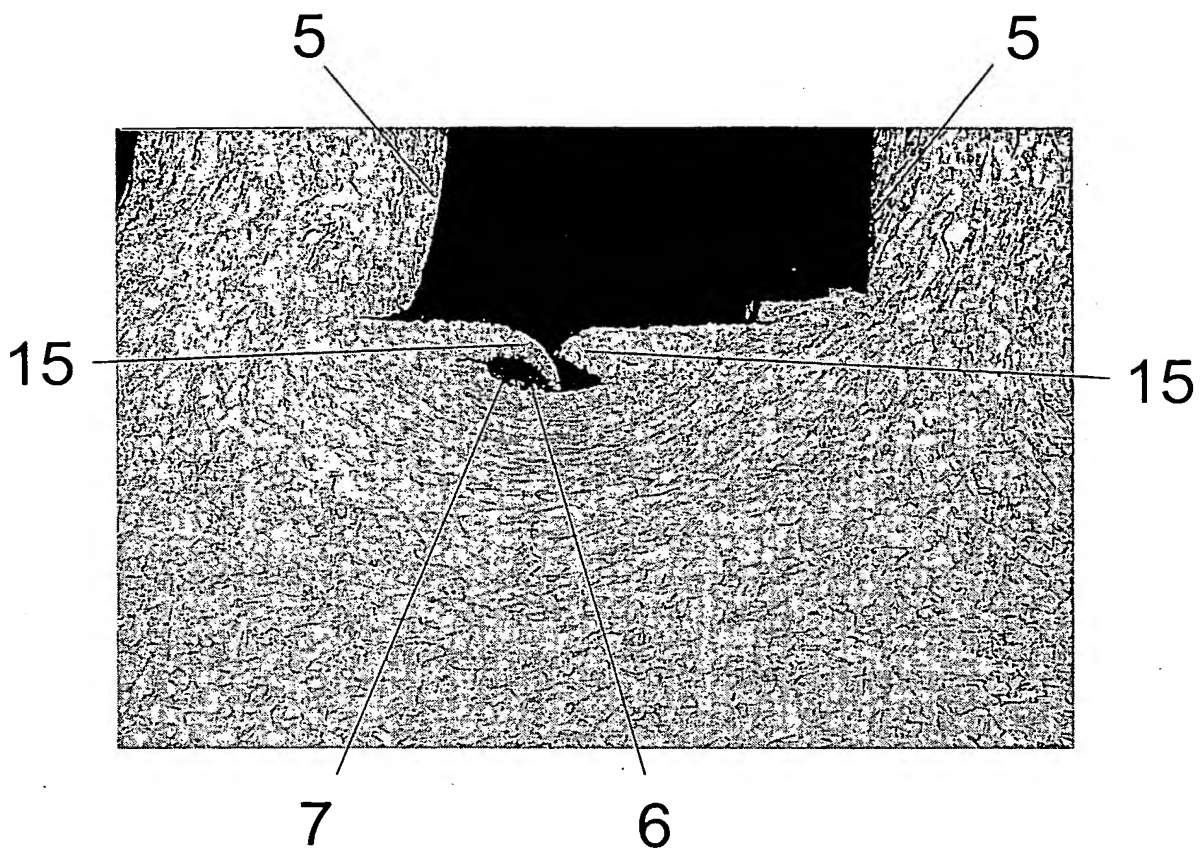


Fig.8

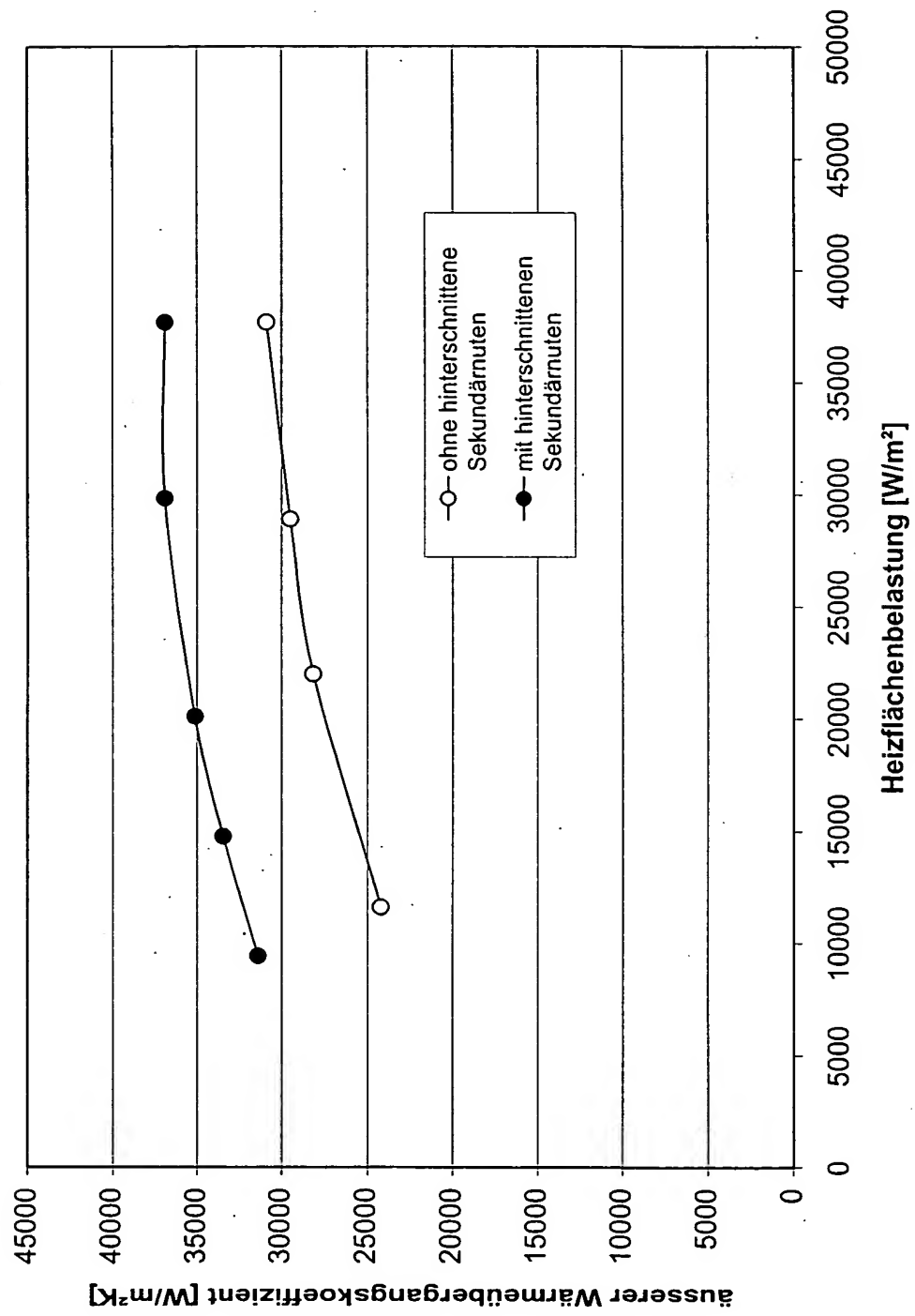


Fig.9

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Erfindung betrifft ein metallisches Wärmeaustauscherrohr, insbes. zur Verdampfung von Flüssigkeiten aus Reinstoffen oder Gemischen auf der Rohraußenseite, mit auf der Rohraußenseite ausgeformten integralen Rippen (3), wobei im Bereich des Nutengrundes (6) der zwischen den Rippen (3) verlaufenden Primärnuten (4) Aussparungen angeordnet sind.

Zur Verbesserung der Verdampfungsleistung wird vorgeschlagen, die Aussparungen in Form hinterschnittener Sekundärnuten (7) auszubilden.

Die mechanische Stabilität des Rohres wird dadurch nicht negativ beeinflusst, da nach dem Ausformen der Rippen durch geeignete, zusätzliche Werkzeuge vorwiegend Material aus dem Bereich der Rippenflanken (5) zum Nutengrund (6) hin verdrängt wird, so daß dort nicht ganz abgeschlossene Hohlräume entstehen, die die gewünschten hinterschnittenen Sekundärnuten (7) darstellen (Fig. 3).